Journal of Horticultural Science
Vol. 35, No.4, Winter 2022, P. 535-547
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص. ۵۴۷-۵۳۵
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

مقاله پژوهشی

واکنش ریحان (*Ocimum bacilicum* L.) به سیستم‌های مختلف تغذیه در کشاورزی اکولوژیک

سهیلا چهاربندی[۱]- فائزه زعفریان[۲]*- وحید اکبرپور[۳]- محمد کاوه[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۱۷

چکیده

تمایل به تولید گیاهان دارویی و معطر و تقاضا برای محصولات طبیعی به‌خصوص در شرایط کشاورزی اکولوژیک در جهان رو به افزایش می‌باشد. کشاورزی اکولوژیک گیاهان دارویی، کیفیت آن‌ها را تضمین کرده و احتمال اثرات منفی روی کیفیت دارویی را کاهش می‌دهد. به منظور بررسی تاثیر کودهای آلی و زیستی بر کمیت و کیفیت گیاه دارویی ریحان (*Ocimum bacilicum* L.)، آزمایشی در سال ۱۳۹۶ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان آمل به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل: بایوچار در دو سطح (صفر و ۲۰ تن در هکتار) و کودهای آلی و زیستی در پنج سطح (ورمی‌کمپوست (۱۰ تن در هکتار)، قارچ *میکوریزا*، باکتری *ازتوباکتر*، باکتری *سودوموناس* و عدم مصرف کود) بودند. مطابق نتایج بدست آمده بیشترین میزان ارتفاع بوته و تعداد شاخه اصلی متعلق به تیمار مصرف بایوچار به‌همراه ورمی‌کمپوست (به‌ترتیب ۴۹/۳۷ سانتی‌متر و ۷/۴۲) بود که به‌طور معنی‌داری از تمامی تیمارهای دیگر بالاتر بود. اثر متقابل بایوچار و کودهای آلی و زیستی بر وزن تر و خشک برگ و ساقه معنی‌دار بود، براساس نتایج مربوط به مقایسه میانگین دادها، بیشترین وزن تر برگ و ساقه، در تیمار کاربرد بایوچار و *سودوموناس* (به‌ترتیب ۷۹۲ و ۸۷۶ گرم در متر مربع) رویت شد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد بایوچار به همراه ورمی‌کمپوست نداشت و بیشترین وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه، با استفاده از بایوچار به‌همراه *سودوموناس* (به‌ترتیب ۱۶۶ و ۱۷۵ گرم در متر مربع) مشاهده شد. برهمکنش بایوچار × کودهای آلی و زیستی بر میزان فنل کل، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه ریحان نیز اختلاف معنی‌داری نشان داد. بیشترین مقدار فنل کل (۱۷/۵۵ میلی‌گرم در گرم برگ خشک) و فلاونوئید (۷۷/۴۷ میلی‌گرم در گرم برگ خشک) مربوط به تیمار *ازتوباکتر* همراه با مصرف بایوچار بود، لذا، می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد کودهای آلی و زیستی نظیر ورمی‌کمپوست و *سودوموناس* به همراه بایوچار باعث افزایش کمیت و کیفیت گیاه ریحان در کشاورزی اکولوژیک می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *ازتوباکتر*، بایوچار، *سودوموناس*، کود آلی، کود زیستی، *میکوریزا*

مقدمه

یکی از مهم‌ترین گونه‌های گیاهی دارویی ریحان می‌باشد که استفاده بسیاری در صنایع غذایی و دارویی دارد. گونه ریحان معمولی (*Ocimum bacilicum* L.) مهم‌ترین گونه اقتصادی *Ocimum* محسوب می‌شود و تقریباً در تمام مناطق گرم و معتدل کشت و مصرف می‌شود. ریحان دارای سابقه ۳۰۰۰ ساله بوده و از دیرباز توسط مردم آسیا و اروپا در مراسم سنتی و مذهبی به عنوان گیاه دارویی، ادویه‌ای و سبزی تازه استفاده شده است. مواد مؤثره پیکره رویشی این گیاه اشتهاآور است و برای درمان نفخ، تقویت دستگاه گوارش و تسکین حس خستگی استفاده می‌شود. از این گیاه می‌توان برای معالجه برخی ناراحتی‌های قلبی و همچنین برای مداوای بزرگی طحال استفاده کرد (۳۰).

یکی از اصول مهم در برنامه‌ریزی تولید گیاهان دارویی به‌منظور حصول عملکرد بالا و باکیفیت مواد موثره مطلوب، ارزیابی سیستم‌های مختلف تغذیه گیاه است. مدیریت صحیح مصرف کودها یکی از عوامل مهم در تولید محصولات کشاورزی می‌باشد، که شناسایی کودهای سازگار با طبیعت و مناسب برای رشد گیاهان می‌تواند اثرات مطلوبی بر شاخص‌های کمی و کیفی گیاه داشته باشد. کودهای شیمیایی به‌عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار بر عملکرد گیاهان دارویی مطرح می‌باشند، ولی استفاده زیاد از آن‌ها به‌ویژه هنگامی‌که با

۱، ۲ و ۴- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و دانش آموخته دکتری گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*- نویسنده مسئول: Email: fa_zaefarian@yahoo.com)
۳- استادیار گروه باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

DOI: 10.22067/JHS.2021.61907.0

عملیات مدیریتی نامناسب مثل سوزاندن بقایای گیاهی همراه باشد، ماده آلی خاک را به شدت کاهش می‌دهد (۳۱). بنابراین، نیاز فوری به تثبیت و افزایش بهره‌وری از طریق استفاده صحیح از کودهای آلی می‌تواند به غنی‌سازی خاک منطقه‌ی ریشه کمک کند. کودهای آلی به علت اثرات مفیدی که بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارند؛ یکی از ارکان مهم باروری خاک محسوب می‌شوند.

در دهه اخیر استفاده از نوعی ماده‌ی آلی به نام بایوچار به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک مورد توجه پژوهشگران قرارگرفته است. بایوچارها شامل موادی با زنجیره کربنی به وجود آمده از تجزیه حرارتی بدون حضور اکسیژن از زیست توده یا ضایعات زیستی گیاهی هستند (۳۷)، سطح ویژه بالا، بار سطحی منفی، چگالی بالا و ساختار متخلخل از خصوصیات بایوچار می‌باشد که به دلیل داشتن چنین خصوصیاتی می‌تواند خواص شیمیایی خاک مثل pH، ظرفیت تبادل کاتیونی و عناصر غذایی قابل دسترس را بهبود ببخشد (۴۰). در بررسی تأثیر بایوچار و *میکوریزا آربوسکولار* (دو گونه *Glomus mosseae* و *G. intraradices*) در گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) نتایج نشان داد که کاربرد بایوچار به طور معنی‌دار سبب افزایش وزن خشک برگ و ریشه شد (۳۵).

نوع دیگری از کودهای آلی، ورمی‌کمپوست می‌باشد که طی فرآیند پیوسته‌ای توسط میکروارگانیسم‌ها در محیط گرم و مرطوب و هوادار ایجاد می‌شود. این کود دارای آنزیم‌هایی مانند پروتئاز، آمیلاز، لیپاز، سلولاز و کیتیناز است که در تجزیه مواد آلی خاک و در نتیجه در دسترس قرار دادن مواد غذایی مورد نیاز گیاهان نقش مؤثری دارد (۳۶). در پژوهشی نتایج نشان داد که کود آلی ورمی‌کمپوست به طور معنی‌داری ارتفاع گیاه، قطر ساقه و ریشه، تعداد گره در ساقه اصلی گیاه، تعداد ساقه جانبی در بوته، سطح برگ، کلروفیل برگ و میزان اسانس نعناع فلفلی را تحت تأثیر قرار داد (۲۴). در مطالعه دیگری بیشترین ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، وزن خشک سرشاخه گلدار، وزن خشک اندام هوایی، درصد و عملکرد اسانس در مرزه سهندی (*Satureja hortensis* L.) در اثر کاربرد کود زیستی و ۵۰ درصد کود شیمیایی به دست آمد، همچنین آنها گزارش کردند که بیشترین درصد اسانس در گیاه مرزه سهندی در تیمار دو تن در هکتار ورمی‌کمپوست به‌دست آمد (۱۸).

یکی از عملیاتی که امروزه مطابق با اصول کشاورزی پایدار در راستای حاصل‌خیزی خاک رایج شده است؛ استفاده از کودهای زیستی است. باکتری‌های جنس *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* از مهم‌ترین باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌باشند که علاوه‌بر تثبیت زیستی نیتروژن، با تولید مقادیر قابل ملاحظه‌ای از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به‌ویژه انواع اکسین، جیبرلین و سیتوکنین عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۱۹). در ارزیابی اثر کودهای بیولوژیک بر خصوصیات مورفولوژیک گیاه دارویی ترخون (*Artemisia dracunculus*) پژوهشگران گزارش کردند که تیمار ترکیبی *ازتوباکتر+آزوسپیریلوم* به‌صورت ریزوم‌مال باعث افزایش ارتفاع بوته و وزن خشک ریزوم شد (۱۳). باکتری‌های جنس *سودوموناس* به دلیل توزیع گسترده در خاک، توانایی کلونیزاسیون ریزوسفر در بسیاری از گیاهان و تولید طیف متنوعی از متابولیت‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. از مهم‌ترین صفات محرک رشد گیاه، توان حل‌کنندگی فسفات توسط آنها است که توسط محققین گزارش شده است (۳۲ و ۳۳).

قارچ‌های *میکوریزا* یکی از اجزای مهم جامعه‌ی زیستی خاک هستند، که به روش‌های مستقیم مانند بهبود تغذیه گیاه از طریق جذب عناصر غذایی و همچنین افزایش جذب آب توسط گیاه و غیرمستقیم مانند کاهش تنش‌های زیستی (بیماری‌های گیاهی) و غیرزیستی (شوری، خشکی و عناصر سنگین) سبب افزایش رشد گیاه میزبان می‌گردند (۴۳). این قارچ‌ها با تشکیل شبکه‌هایی در اطراف ریشه‌های گیاهان، سطح تماس آن‌ها با خاک و رطوبت را بین ۱۰۰۰-۱۰ برابر افزایش می‌دهند و به این ترتیب گیاه توانایی بیش‌تری در استفاده از منابع موجود در محیط اطراف خود را پیدا می‌کند (۳۹). در بررسی تأثیر تلقیح پیاز (*Allium cepa*) با چهار گونه قارچ *میکوریزا* شامل *Glomus intraradices*، *G. etunicatum*، *G. mosseae* و *G. clorum* بر عملکرد کمی و کیفی دو گونه سوسن (*Oriental lilies* و *Lilium ledebourii*) نتایج نشان داد که بالاترین درصد کلونیزاسیون ریشه و ارتفاع بوته در سوسن شرقی (*Oriental lilies*) در تیمار تلقیح با قارچ *G. etunicatum* به‌دست آمد (۲).

با توجه به اهمیت گیاه دارویی ریحان در صنایع مختلف، تأثیرات مثبت برخی باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه، قارچ‌های *آربوسکولار میکوریزا*، ورمی‌کمپوست و بایوچار در تولیدات گیاهان دارویی این پژوهش با هدف ارزیابی میزان تاثیرگذاری سیستم‌های مختلف تغذیه روی کمیت و کیفیت گیاه دارویی ریحان انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر کودهای زیستی و آلی همراه با کاربرد بایوچار بر تغییرات صفات مورفولوژیک (ارتفاع بوته، قطر ساقه و تعداد شاخه)، وزن تر و خشک اندام هوایی، محتوای فنل کل، فلاونوئید کل و میزان مهار رادیکال آزاد DPPH برگ گیاه دارویی ریحان، پژوهشی در سال ۱۳۹۶ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان آمل اجرا شد؛ که قبل از اجرای این پژوهش وضعیت عناصر غذایی از خاک مزرعه نمونه‌گیری شد، و نتایج حاصل از تجزیه آن در جدول ۱ قابل مشاهده است.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. تیمارهای طرح شامل: بایوچار در دو سطح (صفر و ۲۰ تن در هکتار) و منابع کود زیستی در پنج سطح (عدم مصرف کود، *ازتوباکتر*، *سودوموناس*، *میکوریزا* و ورمی‌کمپوست (۱۰ تن در هکتار)) بود. قبل از کاشت بذر ریحان، کودهای بایوچار و ورمی‌کمپوست (مشخصات ورمی‌کمپوست در جدول ۲ درج شده است) تا عمق ۱۵ سانتی‌متری با خاک مخلوط شد. برای تولید بایوچار از مواد اولیه سلولزی شامل بقایای چوب و گیاهان زراعی استفاده شد که مشخصات آن در جدول ۳ آمده است. قارچ *میکوریزا* نیز به‌صورت مخلوط با بذر مصرف شد. همچنین، باکتری‌های ازتوباکتر و سودوموناس به‌صورت بذرمال (تلقیح با بذر) اعمال گردید. شایان ذکر است که قارچ *میکوریزا* و باکتری‌های جنس *ازتوباکتر* و *سودوموناس* (مایه تلقیحی میکروبی با غلظت نهایی 10^9 CFU.ml^{-1}) از بخش تحقیقات بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج تهیه شدند.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Some of the soil physical and chemical properties

EC (dS.cm^{-1})	pH	OC (%)	N (%)	P (mg.kg^{-1})	K (mg.kg^{-1})	بافت خاک Soil texture
0.75	7.67	1.5	0.15	38.42	160.7	Silty-loam

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی ورمی‌کمپوست مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Chemical characteristics of vermicompost used in experiment

EC (dS.cm^{-1})	pH	OC (%)	N (%)	P (%)	K (%)
3.36	8.25	22.7	1.77	1.74	1.47

جدول ۳- ویژگی‌های بایوچار استفاده شده

Table 3- Biochar properties used

دانه‌بندی Grading	نیتروژن N (g.kg^{-1})	درصد کربن C (%)	درصد خاکستر Ash (%)	pH	محتوای رطوبت Moisture content (%)	عدد متیلن بلو Methylene blue number (mg.g^{-1})	مساحت سطح بر اساس استاندارد ASTM (Surface area according to standard ASTM) (m^2.g)	عدد ید Iodine number (mg.g^{-1})	ویژگی‌های بایوچار Biochar properties
0.1≥	18-20	48-50	4-5	8.5	3-4	150-250	950-1100	950-1100	مقدار Value

اندازه‌ی هر کرت پنج متر مربع و شامل پنج خط کاشت بود؛ به‌طوری‌که فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌های روی ردیف پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بذر ریحان به‌صورت دست‌پاش در خط مستقیم کشت شده و روی بذرها به‌وسیله ماسه بادی پوشانده شد و بلافاصله آبیاری انجام گرفت. لازم به ذکر است که در این پژوهش از هیچ‌گونه مواد شیمیایی جهت کنترل علف‌های هرز و آفات استفاده نشد. جهت مطالعه صفات مورفولوژیک ریحان (ارتفاع بوته، قطر ساقه و تعداد شاخه)، قبل از مرحله گلدهی، با حذف حاشیه‌های کرت؛ ۵ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب شد و برای اندازه‌گیری ارتفاع در مزرعه از خط‌کش چوبی به‌طول یک متر و برای اندازه‌گیری قطر ساقه از کولیس استفاده شد. همچنین برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی گیاه ریحان از یک متر مربع کف‌بر شده و توسط ترازوی دقیق دیجیتالی وزن شدند و مقدار وزن تر آن‌ها بدین‌ترتیب تعیین گردید. سپس برای تعیین وزن خشک، نمونه‌ها به آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت منتقل شدند و در نهایت توسط ترازوی دیجیتالی توزین گردیدند.

مقدار فنل کل با استفاده از روش فولین–سیوکالتیو (۱) محاسبه و برای تعیین مقدار فلاونوئید از روش‌های رنگ‌سنجی استفاده گردید (۵). همچنین فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها با استفاده از روش اندازه‌گیری کاهش ظرفیت رادیکالی ۲-۲ دی‌فنیل-۱- پیکریل هیدرازیل (DPPH) مورد ارزیابی قرار گرفت (۲۲) که همگی این صفات در مرحله گلدهی نمونه‌برداری و اندازه‌گیری شدند. در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام شد و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید. همچنین، مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون LSD در سطح ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج به‌دست آمده از جدول تجزیه واریانس حاکی از آن بود که ارتفاع بوته تحت تاثیر اثر ساده کود و همچنین برهمکنش دو عامل

بایوچار و کود قرار گرفت، در حالی‌که اثر ساده بایوچار اثـر معنـی‌داری بر این صفت نداشت (جـدول ۴). بیشـینه ارتفـاع ریحـان مربـوط بـه مصرف بایوچار و ورمی‌کمپوست (۴۹/۳۷ سانتی‌متر) بود. شـایان ذکـر است که مصرف بایوچار در تیمار ورمی‌کمپوست موجب افزایش ۷/۱۴ درصدی ارتفاع نسبت به شرایط عدم مصرف بایوچار در همـین تیمـار گردید (جدول ۴). تیمـار شـاهد بـدون مصـرف بایوچـار و کـود دارای کمترین ارتفاع (۴۲/۵۵ سانتی‌متر) بود که با تیمارهای بـدون مصـرف بایوچار و *سودوموناس* و مصرف بایوچار بدون کود در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۵). بر اساس نتایج بدست آمده عدم مصرف بایوچار و کود در تیمار شاهد، کـاهش ۱۳/۸۱ درصـدی ارتفـاع را نسـبت بـه مصرف بایوچار به‌همراه ورمی‌کمپوست داشت (جدول ۴).

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر بایوچار و کودهای زیستی و آلی بر صفات مورفولوژیک گیاه ریحان

Table 4- ANOVA for the effect of biochar and bio and organic fertilizers on morphological characteristics of sweet basil plant

منابع تغییرات **S.O.V**	درجه آزادی **df**	ارتفاع بوته **Plant height**	تعداد شاخه اصلی **Number of main branches**	قطر ساقه **Stem diameter**
بلوک Block	2	5.69	0.20	0.42
بایوچار Biochar	1	4.56^{ns}	0.00003^{ns}	0.20^{ns}
کود Fertilizer	4	16.73**	7.91**	0.23^{ns}
بایوچار× کود Biochar× Fertilizer	4	9.05**	0.71*	0.86^{ns}
خطا Error	18	1.13	0.20	0.67
ضریب تغییرات CV (%)	-	2.33	7.83	13.82

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

ns, * and **: non-significant, significant at 1 and 5% of probability level , respectively.

جدول ۵- اثر بایوچار و کودهای زیستی و آلی بر ارتفاع و تعداد شاخه اصلی گیاه ریحان

Table 5- The effect of biochar and bio and organic fertilizerson height and number of main branches of sweet basil

تیمار **Treatment**		ارتفاع بوته **Plant height (cm)**	تعداد شاخه اصلی **Number of main branches**
بایوچار **Biochar**	کود **Fertilizer**		
0 (t.ha^{-1})	Vermicompost ورمی‌کمپوست	46.08	6.00
	Mycorrhiza *میکوریزا*	45.4	4.53
	Azotobacter *ازتوباکتر*	45.25	5.35
	Pseudomonas *سودوموناس*	43.8	5.59
	Control شاهد	42.55	4.44
20 (t.ha^{-1})	Vermicompost ورمی‌کمپوست	49.37	7.42
	Mycorrhiza *میکوریزا*	46.31	6.17
	Azotobacter *ازتوباکتر*	47.25	7.07
	Pseudomonas *سودوموناس*	46.56	7.08
	Control شاهد	43.45	4.48
LSD		1.822	0.766

تیمارهای کود آلی با تأمین تدریجی عناصر غذایی باعث افزایش ارتفاع گیاه می‌شوند. همچنین در شرایط یکسان محیطی، فراهم آوردن عناصر غذایی برای گیاه توسط کودهای مختلف می‌تواند باعث افزایش رشد گیاه و در پی آن افزایش ارتفاع بوته شود (۳۴). کیانی و همکاران (۱۶) با بررسی تأثیر نسبت‌های حجمی مختلف از ورمی کمپوست، کمپوست شسته شده و شسته نشده بستر کاشت قارچ روی گیاه دارویی نعناع (*Mentha piperita* L.) دریافتند که جایگزین نمودن ورمی‌کمپوست و کمپوست شسته شده و شسته نشده بستر کاشت قارچ در بستر کاشت گیاه بر پارامترهای رشد رویشی از قبیل وزن تر و خشک بوته، ارتفاع بوته، محتوای کلروفیل و سطح برگ و همچنین محتوای عناصر پرمصرف در بخش هوایی گیاه دارویی نعناع اثر معنی‌داری داشت. محققان در آزمایشی مشاهده کردند که استفاده از کودهای آلی و زیستی ارتفاع گیاه ریحان را افزایش داد و این افزایش ارتفاع از نظر آماری با عملکرد تر و خشک گیاه رابطه مثبت و معنی‌دار داشت (۳۵).

تعداد شاخه اصلی

تعداد شاخه اصلی تحت تاثیر اثر ساده کودها و برهمکنش کود و بایوچار قرار گرفت (جدول ۴). مصرف بایوچار و ورمی‌کمپوست رکورددار بالاترین تعداد شاخه اصلی (۷/۴۲) بود که با مصرف بایوچار به‌همراه *سودوموناس* و ازتوباکتر تفاوت چندانی از لحاظ آماری نداشت (جدول ۵). کمترین تعداد شاخه اصلی به‌ترتیب مربوط به تیمارهای عدم مصرف کود با و بدون بایوچار و بدون مصرف بایوچار و *میکوریزا* بود (جدول ۵). مصرف بایوچار موجب افزایش تعداد شاخه اصلی در تمامی تیمارهای کودی گردید، به‌طوری‌که تیمار کاربرد ورمی‌کمپوست و بایوچار موجب افزایش ۲۳/۶۷ درصدی تعداد شاخه اصلی نسبت به شرایط عدم مصرف بایوچار در همین تیمار گردید (جدول ۵).

تعداد شاخه گیاه بیشتر تحت تاثیر شرایط محیطی و اقلیم قرار می‌گیرد. البته در دسترس بودن آب و عناصر غذایی ضروری از طریق بهبود صفات رویشی گیاه تا حدی آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۶). طبق مطالعات انجام شده مقدار ترکیبات هوموسی در ورمی‌کمپوست بیشتر از کمپوست و کود دامی می‌باشد و همچنین عناصر غذایی قابل تبادل بیشتری نسبت به سایر کودهای آلی دارد که این موارد احتمالاً یکی از عوامل مؤثر در افزایش رشد رویشی و تعداد شاخه تحت تاثیر مصرف ورمی‌کمپوست در گیاه می‌باشد. در همین راستا یافته‌های شمس و باقرزاده (۳۸) روی گیاه ریحان نشان داد، افزایش مقدار تیمار ورمی‌کمپوست، به‌طور معنی‌داری تعداد شاخه فرعی را در ریحان افزایش داد. همچنین پژوهشگران گزارش کردند افزودن بایوچار به خاک تحت کشت برنج موجب بهبود رشد گیاه برنج و همچنین افزایش ارتفاع، تعداد پنجه، تعداد ساقه بارور و زیست توده برنج شده است. (۳۲). کودهای آلی با فراهم آوردن عناصر غذایی و جذب بیشتر آب باعث افزایش شاخه‌های فرعی و متعاقب آن افزایش تعداد ساقه اصلی و تعداد گل در بوته می‌شود. تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده رشد گیاه و در پی آن افزایش تعداد شاخه‌های گیاه است (۳۴).

قطر ساقه

با استناد به نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها مشخص شد اثر ساده و برهم‌کنش بایوچار و کود تاثیر معنی‌داری بر قطر ساقه ریحان نداشت (جدول ۴). بر اساس نتایج مقایسه میانگین در بین منابع کودی قطورترین ساقه به‌ترتیب با اندازه‌های ۶/۲۰، ۶/۰۱، ۵/۹۰، ۵/۷۵ و ۵/۷۲ میلی‌متر مربوط به ورمی‌کمپوست، *سودوموناس*، *ازتوباکتر*، *میکوریزا* و شاهد می‌باشد (جدول ۶). هرچند مصرف بایوچار موجب افزایش قطر ساقه ریحان نسبت به عدم مصرف آن شد؛ اما از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند (جدول ۶).

وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه ریحان

وزن تر برگ و ساقه

نتایج تجزیه واریانس مبین این مطلب بود که وزن تر برگ و ساقه ریحان تحت تاثیر اثر ساده کود و برهمکنش بین کود و بایوچار قرار گرفته است (جدول ۷). به‌کارگیری بایوچار در کنار کود تاثیر به‌سزایی در افزایش وزن تر برگ و ساقه ریحان داشت؛ به‌گونه‌ای که اعمال بایوچار به‌همراه *سودوموناس* به‌ترتیب موجب افزایش ۲۴/۷۸ و ۳۸/۸۸ درصدی وزن تر برگ و ساقه نسبت به همین تیمار در شرایط عدم مصرف بایوچار گردید (جدول ۸). بر اساس نتایج دو تیمار بایوچار + *سودوموناس* و بایوچار + ورمی‌کمپوست دارای بیشترین وزن تر برگ (به‌ترتیب ۷۹۲/۳۳ و ۷۶۵/۸۴ گرم در متر مربع) و وزن تر ساقه (به‌ترتیب ۸۷۵/۶۴ و ۸۳۳/۱۷ گرم در متر مربع) بودند (جدول ۸). شایان ذکر است که تیمار شاهد بدون مصرف بایوچار و کود کمترین تاثیر را روی وزن تر برگ و ساقه ریحان نسبت به سایر تیمارها داشت (جدول ۸).

جدول ۶- اثر بایوچار و کودهای زیستی و آلی بر قطر ساقه گیاه ریحان

Table 6- The effect of biochar and bio and organic fertilizers on stem diameter of sweet basil plant

تیمار Treatment		قطر ساقه Stem diameter (mm)
کود Fertilizer	Vermicompost ورمی‌کمپوست	6.20
	Mycorrhiza *میکوریزا*	5.75
	Azotobacter *ازتوباکتر*	5.90
	Pseudomonas (*سودوموناس*)	6.01
	Control (شاهد)	5.72
LSD		0.991
بایوچار Biochar	0 (t. ha^{-1})	5.83
	20 (t. ha^{-1})	6.00
LSD		0.788

به نظر می‌رسد بایوچار به عنوان اصلاح‌کننده خاک با افزایش حاصل‌خیزی خاک شرایط مناسبی را برای رشد و عملکرد گیاه به وجود می‌آورد و همچنین سطح ویژه و چگالی بار زیاد (۴) باعث افزایش سطح ویژه‌ی کل خاک و موجب افزایش جمعیت میکروبی خاک شده که نهایتا موجب افزایش فعالیت باکتری *سودوموناس* و افزایش وزن تر و خشک برگ و وزن تر و خشک ساقه گیاه ریحان شده است. افزودن بایوچار به خاک، چه اسیدی و چه قلیایی، ممکن است باعث تغییر معنی‌دار نسبت باکتری به قارچ (۳) و جمعیت میکروبی غالب خاک شده و همچنین با اثر بر فعالیت آنزیمی و فعالیت میکروبی موجب تغییر عملکرد و نقش خاک گردد (۴۵). طی پژوهشی در بررسی اثر کودهای زیستی بر عملکرد گیاه دارویی مرزه محققین به این نتیجه رسیدند که مصرف تلفیقی *ازتوباکتر*، *آزوسپیریلوم* و *سودوموناس* عملکرد اندام‌های هوایی را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (۸). باکتری‌های موجود در کودهای زیستی علاوه بر تثبیت نیتروژن هوا و متعادل کردن جذب عناصر اصلی پرمصرف و ریزمغذی مورد نیاز گیاه با سنتز و ترشح مواد محرک رشد گیاه و همچنین ترشح اسیدهای آمینه مختلف و انواع آنتی بیوتیک موجب رشد و توسعه ریشه و اندام هوایی شده که این مسئله سبب تولید آسیمیلات بیشتر و انتقال آنها به سایر اندام‌ها می‌شود (۱۲).

جدول ۷- تجزیه واریانس اثر بایوچار و کودهای زیستی و آلی بر وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه ریحان

Table 7- ANOVA for the effect of biochar and bio and organic fertilizers on shoots fresh and dry weight of sweet basil plant

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن تر برگ Leaf fresh weight	وزن تر ساقه Stem fresh weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight
بلوک Block	2	49550.40	81928.63	603.21	2547.29
بایوچار Biochar	1	360218.70^{ns}	4895941.24^{**}	139173.72^{**}	34634.68^{**}
کود Fertilizer	4	4500330.87^{**}	3412603.30^{**}	63049.47^{**}	195597.95^{**}
بایوچار× کود Biochar× Fertilizer	4	995074.34^{**}	3082594.17^{**}	139833.46^{**}	89465.76^{**}
خطا Error	18	142655.35	102202.36	4376.43	3742.18
ضریب تغییرات CV (%)	-	5.88	4.80	4.97	4.30

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

ns, * and **: non-significant, significant at 1 and 5% of probability level , respectively.

جدول ۸- اثر بایوچار و کودهای زیستی و آلی بر وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه ریحان

Table 8- The effect of biochar and bio and organic fertilizers on shoots fresh and dry weight of sweet basil plant

تیمار Treatment		وزن تر برگ Leaf fresh weight ($g.m^{-2}$)	وزن تر ساقه Stem fresh weight ($g.m^{-2}$)	وزن خشک برگ Leaf dry weight ($g.m^{-2}$)	وزن خشک ساقه Stem dry weight ($g.m^{-2}$)
بایوچار Biochar	کود Fertilizer				
0 ($t.ha^{-1}$)	Vermicompost ورمی‌کمپوست	626.24	646.22	126.84	146.58
	Mycorrhiza میکوریزا	594.56	605.13	126.27	128.76
	Azotobacter ازتوباکتر	543.82	627.93	118.6	140.73
	Pseudomonas سودوموناس	634.98	630.51	127.71	141.8
	Control شاهد	553.6	548.44	110.27	99.93
20 ($t.ha^{-1}$)	Vermicompost ورمی‌کمپوست	765.84	833.18	160.76	158.02
	Mycorrhiza میکوریزا	655.44	668.07	136.16	153.96
	Azotobacter ازتوباکتر	716.53	657.42	143.11	152.71
	Pseudomonas سودوموناس	792.33	875.64	165.53	175.07
	Control شاهد	538.09	564.4	113.18	123.53
LSD		64.761	54.815	11.343	10.489

وزن خشک برگ و ساقه

نتایج تجزیه واریانس بیانگر این مطلب بود که وزن خشک برگ و ساقه ریحان تحت تاثیر اثر ساده و برهمکنش بین تیمارها قرار گرفته و اعمال تیمارها اثر معنی‌داری بر این صفت داشت (جدول ۷). نتایج نشان می‌دهد که بیشترین وزن خشک برگ (۱۶۵/۵۳ گرم در متر مربع) ریحان مربوط به مصرف بایوچار و باکتری *سودوموناس* بود که با تیمار مصرف کود بایوچار و ورمی‌کمپوست اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۸). حداکثر و حداقل میزان وزن خشک ساقه به‌ترتیب مربوط به تیمارهای مصرف بایوچار به همراه باکتری *سودوموناس* (۱۷۵/۰۷ گرم در متر مربع) و شاهد بدون مصرف بایوچار و کود (۹۹/۹۳ گرم در متر مربع) بود (جدول ۸). با بررسی نتایج مقایسه میانگین مشخص شد که به‌کارگیری بایوچار و کود زیستی *سودوموناس*، وزن خشک برگ و ساقه را به‌ترتیب ۵۰/۱۲ و ۷۵/۱۸ درصد نسبت به شرایط عدم مصرف بایوچار و کود زیستی افزایش داد (جدول ۸).

پژوهشگران نشان دادند که بایوچار بر چرخه عناصر غذایی تأثیر مثبت داشته و سبب جلوگیری از هدرروی کربن، نیتروژن و فسفر در خاک می‌شود و همچنین بیان کردند که بایوچار یک منبع غنی از عناصر غذایی می‌باشد که با سرعت‌های متفاوت آزاد شده و سبب حاصلخیزی خاک می‌شود (۲۵). در بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد و سه گونه قارچ *میکوریزا* بر عملکرد نعناع فلفلی گزارش شد که کاربرد تیمارهای باکتریایی و قارچی منجر به افزایش در تمام صفات رویشی شد (۱۷).

در رابطه با اثر تحریکی باکتری‌های محرک رشد نیز می‌توان بیان داشت که باکتری‌های محرک رشد از طریق سازوکارهای مختلف، از جمله تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه، تولید سیدروفور، افزایش جذب فسفر توسط گیاه، تثبیت نیتروژن و سنتز آنزیم‌هایی که مقدار اتیلن را در گیاه تنظیم می‌کنند، سبب تحریک رشد گیاه می‌شوند (۴۱).

فنل و فلاونوئید کل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده و متقابل تیمارهای مختلف بر میزان فنل و فلاونوئید کل اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد ($p<0.01$) داشت (جدول ۹). در بررسی اثر متقابل بایوچار و کود مطابق شکل ۱- A بیشترین مقدار فنل کل مربوط به دو تیمار ورمی‌کمپوست و *ازتوباکتر* در شرایط مصرف بایوچار (۱۷/۵۵ میلی‌گرم در گرم برگ خشک) بود؛ همچنین کمترین مقدار فنل کل در تیمار شاهد بدون مصرف بایوچار و کود (۱۰/۱۴ میلی‌گرم در گرم برگ خشک) مشاهده شد. لازم به ذکر است که عدم اعمال بایوچار میزان فنل کل ریحان را به‌طور چشمگیری کاهش داد، به گونه‌ای که در

تیمار ورمی‌کمپوست کاهش ۳۴/۶۴ درصدی فنل کل نسبت به همین تیمار در شرایط مصرف بایوچار ملاحظه گردید (شکل ۱- A). همچنین نتایج نشان داد که مصرف بایوچار و *ازتوباکتر* (۷۷/۴۷ میلی‌گرم در گرم برگ خشک) بیشترین میزان فلاونوئید کل را دارا بود؛ درحالی‌که کمترین میزان فلاونوئید کل در تیمار شاهد بدون مصرف بایوچار (۴۴/۸۹ میلی‌گرم در گرم برگ خشک) مشاهده شد (شکل ۱- B).

کاربرد کودهای آلی به دلیل افزایش دسترسی گیاه به مواد غذایی مخصوصا کربن و نیتروژن موجب افزایش تولید ترکیبات فنلی می‌گردد (۱۱). تهیه منابع مورد نیاز برای متابولیسم اولیه گیاهان ارتباط تنگاتنگی با بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه در مسیرهای بیوشیمیایی داشته و افزایش رشد و نمو گیاهان همراه با بهبود کارآیی فتوسنتز، عرضه متابولیت‌ها و سوبستراهای لازم برای مسیرهای متابولیسمی ثانویه را افزایش داده و منجر به تولید بهینه ترکیبات مذکور می‌گردد (۴۴).

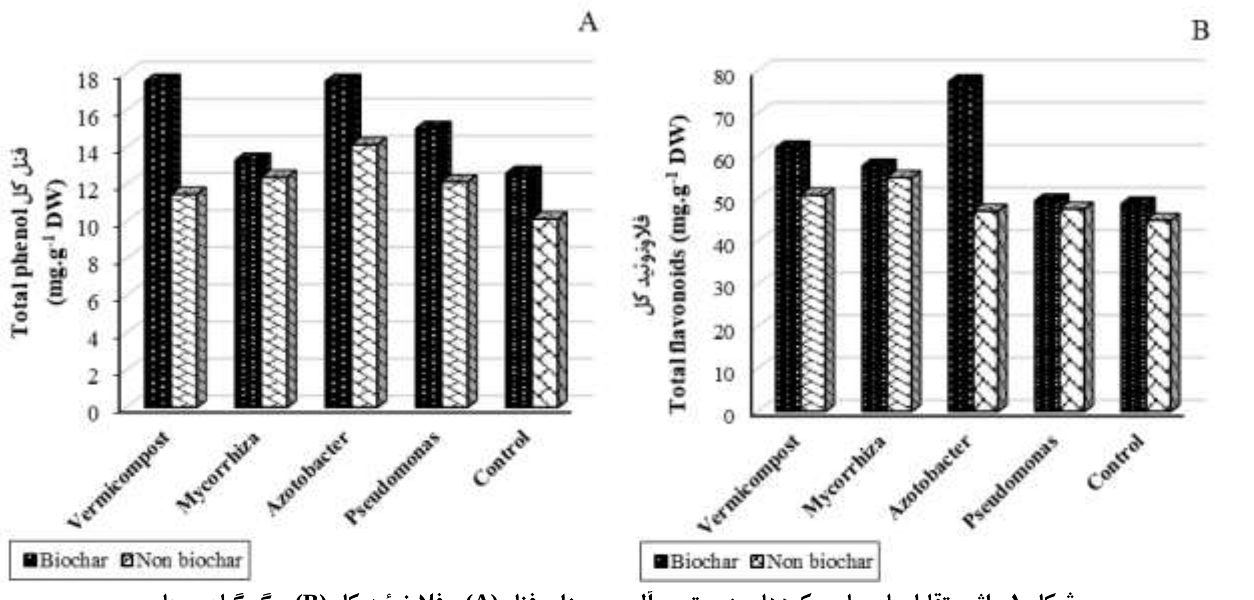
جدول ۹- تجزیه واریانس اثر بایوچار و کودهای زیستی و آلی بر فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه ریحان

Table 9- ANOVA for the effect of biochar and bio and organic fertilizers on total phenol, total flavonoids and antioxidant activity of sweet basil plant

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	فنل کل Total phenol	فلاونوئید کل Total flavonoids	فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity
بلوک Block	2	0.006	0.008	0.005
بایوچار Biochar	1	4.80**	327.52**	1734.41**
کود Fertilizer	4	17.14**	239.86**	1464.72**
بایوچار× کود Biochar× Fertilizer	4	22.73**	322.64**	751.26**
خطا آزمایش Error	18	0.002	0.01	0.01
ضریب تغییرات (C.V.)	-	0.35	0.21	0.23

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

**: significant at 1% of probability level.



شکل ۱- اثر متقابل بایوچار × کودهای زیستی و آلی بر میزان فنل (A) و فلاونوئید کل (B) برگ گیاه ریحان

Figure 1- The interaction effect of biochar ×bio and organic fertilizerson total phenol (A) and flavonoid (B) content in sweet basil leaf

مقدار LSD برای فنل کل و فلاونوئید کل به ترتیب ۰/۰۷۶ و ۰/۱۷۱ می باشد.

The LSD values for total phenol and flavonoids contents are 0.076 and 0.171, respectively.

بر اساس دو فرضیه تعادل کربن به مواد معدنی و فرضیه تمایز رشد، رابطه دوطرفه بین متابولیسم اولیه و ثانویه اثبات شده است

(۲۱)، لذا افزایش عناصر غذایی در خاک تیمار شده با کودهای آلی و زیستی منجر به افزایش میزان فتوسنتز خالص در گیاه و در نتیجه افزایش فعالیت آنزیم‌های درگیر با بیوسنتز نشاسته و پروتئین در سنتز ترکیبات ثانویه می‌گردد (۲۶). محققین اظهار نمودند که تحت شرایط بهبود خصوصیات خاک و در نتیجه افزایش فتوسنتز، محتوای فلاونوئید و فنل گیاه زنجبیل (*Zingiber officinale*) افزایش یافت (۹).

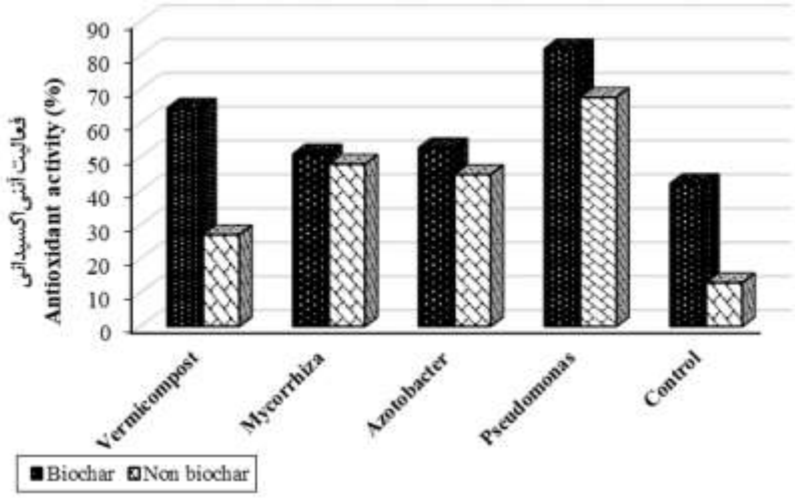
به نظر می‌رسد که کودهای زیستی ازجمله باکتری *ازتوباکتر* می‌توانند از طریق فعالیت‌های متابولیکی خود، قابلیت استفاده از مواد غذایی ضروری از قبیل نیتروژن را برای گیاهان و دیگر موجودات زنده خاک فراهم کند و گیاهان از طریق تارهای کشنده در ریشه خود مواد ضروری و قابل جذب خود را دریافت می‌کنند و باعث افزایش رشد و تشکیل فلاونوئید در اندام‌های گیاه می‌شود. در پژوهشی، نتایج نشان داد که کودهای آلی دارای اثر تحریکی بر تجمع فنولیک در گلچه کلم بروکلی (*Brassica olaracea*) هستند. محققان بیان کردند که غلظت‌های بالای فنل در گلچه، به نقش کودهای آلی در بیوسنتز موادی که القاءکننده مسیر شیکمیک استات و در نتیجه تولید بیشتر فلاونوئید و فنولیک است، مربوط می‌شود (۲۷).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۹)، اثر ساده و متقابل بایوچار و کود بر درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی ریحان معنی‌دار گردید. مصرف بایوچار به همراه باکتری *سودوموناس* (۸۱/۸۶ درصد) بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را دارا بود و کمترین درصد آنتی‌اکسیدانی در تیمار شاهد بدون مصرف بایوچار (۱۲/۸۵ درصد) مشاهده شد (شکل ۲). مطابق شکل ۲ در تمامی تیمارهای کود، عدم اعمال بایوچار موجب کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه ریحان گردید؛ به‌طوری‌که در تیمار *سودوموناس*، فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه نسبت به شرایط مصرف بایوچار به میزان ۱۷/۴۸ درصد کاهش نشان داد.

با استفاده از مدیریت مواد غذایی در بستر کشت و تغییر شرایط محیطی می‌توان میزان سنتز متابولیت‌های ثانویه و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را بالا برد. در حقیقت با دست‌کاری سیستم رشدی می‌توان میزان متابولیت‌های ثانویه و عملکرد را افزایش داد (۲۳ و ۴۶).

به نظر می‌رسد که کودهای زیستی ازجمله باکتری سودوموناس می‌توانند از طریق فعالیت‌های متابولیکی خود، مواد معدنی و آلی خاک را از شکلی به شکل دیگر تغییر داده و قابلیت استفاده از مواد غذایی را برای گیاهان و دیگر موجودات زنده خاک تغییر می‌دهند و گیاهان از طریق تارهای کشنده در ریشه خود مواد ضروری و قابل جذب خود را دریافت می‌کنند و باعث افزایش رشد اندام‌های گیاه می‌شود. بنابراین این کودها، در تجزیه مواد آلی، چرخه مواد غذایی و تشکیل خاک نقش مهمی ایفا می‌کنند. همچنین اسیدهای آلی تولید شده توسط این باکتری‌ها می‌توانند از طریق تشکیل کمپلکس‌های محلول با یون‌های فلزی باعث افزایش جذب این عناصر غذایی گردند و این گروه از باکتری ها از طریق سازوکارهای مختلفی از جمله تولید سیدروفورها، سنتز آنتی‌بیوتیک‌ها، تولید هورمون‌های گیاهی، افزایش جذب فسفر توسط گیاه، تثبیت نیتروژن و سنتز آنزیم‌هایی که مقدار اتیلن در گیاه را تنظیم می‌کنند، سبب تحریک در رشد و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه ریحان می‌شود.



شکل ۲- اثر متقابل بایوچار × کودهای زیستی و آلی بر درصد فعالیت آنتی اکسیدانی برگ گیاه ریحان

Figure 2- The interaction effect of biochar ×bio and organic fertilizers on antioxidant activity of sweet basil leaf.

مقدار LSD برای فعالیت آنتی اکسیدانی ۰/۱۷۱ می‌باشد.

The LSD value for antioxidant activity is 0.171.

درواقع می توان گفت که کود های آلی احتمالاً با تاثیر مثبت بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش ماده آلی خاک و همچنین قابلیت دسترسی گیاه به عناصر غذایی بیشتر (۲۹)، باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان در گیاه ریحان شده است. در تایید این نتایج محققان دیگری نیز نیز گزارش کردند بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدان از تیمار کود دامی در گیاه دارویی آویشن دنایی (*Thymus deanensis* Celak) به‌دست آمد (۷).

برخی از سویه‌های *سودوموناس* می‌توانند از طریق تولید مواد تنتظیم‌کننده رشد گیاه و افزایش قابلیت جذب آب و عناصر غذایی به طور مستقیم در افزایش رشد گیاه موثر شوند (۳۹). در مطالعات ایسلام و همکاران (۱۵) نشان داده شد که باکتری *سودوموناس* موجب افزایش سطح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پرکسیداز و همچنین موجب کاهش پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدهید گردید.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که مصرف بایوچار و کود زیستی موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد شاخه اصلی، درصد اسانس، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی، فنل، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه ریحان گردید. با توجه به ضرورت تولید گیاهان دارویی در نظام‌های زراعی و نیز کشت این گیاهان در نظام‌های کم نهاده و با توجه به اثرات مثبت کودهای زیستی در پایداری منابع خاک، حفظ تولید در درازمدت، جلوگیری از آلودگی محیط زیست و در نهایت عرضه محصول سالم، استفاده ازاین نوع کودها نظیر ورمی‌کمپوست و سودوموناس در تلفیق با بایوچار می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای مناسب در راستای کاهش مصرف کودهای شیمیایی و نیل به اهداف کشاورزی پایدار مد نظر قرار گیرد.

منابع

1. Al-Farsi M., Alsalvar C., Morris A., Baron M., and Shadih F. 2005. Comparison of antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids and phenolics of three native fresh and sun-dried date (*Phoenix dactylifera* L.) varieties grown in Oman. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53: 7592-7599.
2. Arjmand Alavi M., Hatamzadeh A., and Ehteshami S.M.R. 2014. Effect of bulb inoculation with four species mycorrhizal fungi on quantitative and qualitative yield of two lily species. Seed Science and Research 1(2): 57-65. (In Persian)
3. Bamminger C., Marschner B., and Juschke E. 2014. An incubation study on the stability and biological effects of pyrogenic and hydrothermal biochar in two soils. European Journal of Soil Science 65(1): 72-82.
4. Behnam H., Farrokhian Firouzi A., and Moezzi A.A. 2016. Effect of biochar and compost sugarcane bagasse on some soil mechanical properties. Water and Soil Conservation 23(4): 235-250. (In Persian)
5. Chang C., Yang M., Wen H., and Chern J. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. Journal of Food and Drug Analysis 10: 178-182.
6. Ebrahimzadeh Abdashti R. 2013. Effects of organic and chemical fertilizers on the quantitative and qualitative yield of sour tea (*Hibiscus sabdaiffa* L.). M.Sc Thesis, University of Zabol. 110 pages.
7. Emami Bistagani Z., Siadat AA, Bakhshandeh A.M. And Ghasemi Pirblouti A.A. 2016. The effect of chemical fertilizers, organic chitosan on physiological characteristics and phenolic compounds of thyme in the Shahrekord region. Agricultural Research, 7 (1): 26-11.
8. Faraji Mehmani A., Esmaielpour B., Sefidkon F., Abbaszadeh B., Khavazi K., and Ghanbari A.R. 2014. Effects of biofertilizers on growth criteria, quantitative and qualitative yield of summer savory (*Satureja hortensis* L.). Agroecology 6(4): 870-879. (In Persian)
9. Ghasemzadeh A., and Jaafar H.Z.E. 2011. Effect of CO_2 enrichment on synthesis of some primary and secondary metabolites in ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). International Journal of Molecular Sciences 12(2): 1101-1114.
10. Gholami Sharafkhane E., Jahan M., Banayan Avval M., Koocheki A., and Rezvani Moghaddam P. 2015. The effect of organic, biological and chemical fertilizers on yield, essential oil percentage and some agroecological characteristics of summer savory (*Satureja hortensis* L.) under Mashhad conditions. Journal of Agroecology 7: 179-189. (In Persian)
11. Ghorbanali M., Saadatmand L., and Nikan M. 2011. The effects of natural habitat on polyphenol flavonoids, anthocyanin and its related antioxidant activity in Silverberry. The First National Conference on Modern Topics in Agriculture, Saveh, Islamic Azad University, 8 November, (In Persian)
12. Han H.S., and Lee K.D. 2006. Effect of inoculate on with phosphate and potassium co-in solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber. Plant, Soil and Environment 52: 130-136.
13. Hatami S.F., Esmaielpour B., Hadian J., Khavazi K., Soltani Toolarood A.A., and Abbaszadeh Dahaji P. 2014. Effects of biofertilizers on morphological traits of tarragon. Soil Biology 2(1): 55-63. (In Persian)
14. Hejazizadeh A., Gholam Alizadeh Ahangar A., and Ghorbani M. 2016. Effect of biochar on lead and cadmium uptake from applied paper factory sewage sludge by sunflower (*Heliantus annus* L.). Water and Soil Science

26(2): 259-271. (In Persian)

15. Islam F., Yasmeen T., Ali Q., Ali S., Arif M.S., Hussain S., and Rizvi H. 2014. Influence of *Pseudomonas aeruginosa* as PGPR on oxidative stress tolerance in wheat under Zn stress. Ecotoxicology and Environmetal Safety 104: 285-293.
16. Kiani Z., Esmaeilpour B., Hadian J., Soltani Toolarood A.A., and Fatah Aloumi S. 2015. Effect of organic fertilizers on growth properties nutrient absorption and essential oil yield of medicinal plant of spearmint. Plant Production 21(4): 63-80.
17. Mahmoudzadeh M., Rasouli Sadaghiani M.H., and Asgari Lajayer H. 2016. Effect of plant growth promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on growth characteristics and concentration of macronutrients in peppermint (*Mentha pipperita* L.) under greenhouse conditions. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture Soilless Culture Research Center 6(4): 155-168. (In Persian)
18. Makkizadeh Tafti M., Chaichi M., Nasrollahzadeh S., and Khavazi K. 2012. Effect of different types of nitrogen fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of *Satureja hortensis* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 28: 330-341.
19. Maleki V., Salimi K.H., and Ardakani M.R. 2016. Effect of biofertilizers on vegetative growth and essential oil of sweet basil. Agroecology 11(4): 49-56. (In Persian)
20. Masulili A., and Utomo W.H. 2010. Rice husk biochar for rice based cropping system in acid soil 1. The characteristics of rice husk biochar and its influence on the properties of acid sulfate soils and rice growth in west Kalimantan, Indonesia. Journal of Agricultural Science pp: 39-47.
21. Mckey D. 1979. The Distribution of Secondary Compounds within Plants. In: Rosenthal G.A., Janzen D.H., editors, Herbivores: their interaction with secondary plant metabolites. New York: Academic Press.
22. Miliauskas G.P., Venskutonis R., and Vanbeek T.A. 2004. Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. Food Chemistry 85: 231-237.
23. Montanari M., Innocenti E.D., Maggini R., Pacifici S., Pardossi A. and Guidi L. 2008. Effect of nitrate fertilization and saline stress on the contents of active constituents of *Echinacea angustifolia* DC. Food Chemistry 107: 1461-1466.
24. Mousavi F., Solymani A., Rezaiinezhad A.H., and Kheyri A.A. 2014. The effect of vermicompost on some quantitative and qualitative properties of peppermint. The First National Conference on New Ideas in Sustainable Agriculture, March 5, Boroujerd, Islamic Azad University. (In Persian)
25. Mukherjee A., and Zimmerman A.R. 2013. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar-soil mixtures. Geoderma 193(1): 122-130.
26. Mullera V., Lankesa C., Zimmermannb B.F., Nogaa G., and Hunschea M. 2013. Centelloside accumulation in leaves of *Centella asiatica* is determined by resource partitioning between primary and secondary metabolism while influenced by supply levels of either nitrogen, phosphorus or potassium. Journal of Plant Physiology 170: 1165-1175.
27. Naguib A.M., El-Baz F.K., Salama Z.A., Hanaa A.B., Hanaa F.A., and Gaafar A.A. 2012. Enhancement of phenolics, flavonoids and glucosinolates of broccoli (*Brassica olaracea*var. Italica) as antioxidants in response to organic and bio-organic fertilizers. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 11(1): 135-142.
28. Nouri Hosseini M., Khorasani R., Astaraei AR., Rezvani Moghaddam P., and Zabihi H.R. 2016. The effect of different fertilizer sources and humic acid on morphological characteristics, yield and antioxidant content of black cumin. Applied Agricultural Research 29(4): 104-87.
29. Nur M.S.M., Islami T., Handayanto E., Nugroho W.H., and Utomo W.H. 2014. The use of biochar fortified compost on calcareous soil of east Nusa Tenggara, Indonesia: 2. Effect on the yield of maize (*Zea mays* L.) and phosphate absorption. American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture 8(5): 105-111.
30. Omidbaigi R. 1997. Approaches to Production and Processing of Medicinal Plants. Tarahane'e Nashr publication. Vol 2. Tehran-Iran. 424 pp. (In Persian)
31. Pirasteh Anosheh H., Emam Y., and Jamali Ramin F. 2010. Comparative effect of biofertilizers with chemical fertilizers on sunflower (*Helianthus annuus* L.) growth, yield and oil percentage in different drought stress levels. Agroecology 2(3): 492-501. (In Persian)
32. Ramezanpour M., Popov Y., Khavazi K., and Asadi Rahmani H. 2010. Genetic diversity and efficiency of indole acetic acid production by the isolates of *fluorescent pseudomonads* from rhizosphere of rice (*Oryza sativa* L.). American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science 7(1): 103-109.
33. Rashid M., Khalil S., Ayub N., Alam S., and Latif F. 2004. Organic acids production and phosphate solubilization by phosphate solubilizing microorganisms (PSM) under in vitro conditions. Pakistan Journal of Biological Science 7: 187-196.
34. Rezaee Moadab., S.M., Nabavi Kalat R., and Sadrabadi Haghaghi. 2013. Effects of biological fertilizer and vermicompost on vegetative yield and essential oil of basil (*Ocimum basilicum* L.) under Mashhad climatic conditions. Agroecology 5(4): 350-362.
35. Rezaeeyan A. 2014. Effect of biochar and arbuscular mycorrhiza on cadmium absorption, transfer and

accumulation in peppermint. M.Sc Thesis, Shahroud University, Iran. (In Persian)

36. Sajadinik R., and Yadavi A.R. 2013. Effect of nitrogen fertilizer, vermicompost and nitroxin on growth indices, phenological stages and grain yield of sesame. Crop Production 6(2): 73-100. (In Persian)
37. Schmidt M.W.I., and Noack A.G. 2000. Black carbon in soils and sediments: analysis, distribution, implications and current challenges. Global Biogeochemical Cycle 14: 777-793.
38. Shams S., and Bagherzadeh Chharjoei A. 2013. The effect of different amounts of two types of biological fertilizer, vermicompost and cattle manure on morphological characters and active ingredients content of basil. The Third National Conference on Agricultural Science and Food Industry. Fasa University 1-7. (In Persian)
39. Sharma A.K. 2002. Bio-fertilizers for Sustainable Agriculture. 1st edition. Jodhpur: agrobios, Indian, 456p.
40. Singh B.P., Hatton B.J., Singh B., Cowie A., and Kathuria A. 2010. Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils. Journal of Environmental Quality 39: 1224-1235.
41. Stajkovic O., Delic D., Josic D., Kuzmanovic D., Rasulic N., and Knezevic-Vukcevic J. 2011. Improvement of common bean growth-promoting bacteria. Romanian Biotechnological Letters 16(1): 5919-5926.
42. Tahami–Zarandi M.K. 2010. Assessment of organic, biologic and fertilizer on yield, yield components and essence of basil .MSc. dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian)
43. Tahat M.M., and Sijan K. 2012. Mycorrhizal fungi and abiotic environmental conditions relationship. Research Journal of Environmental Science 6: 125-133.
44. Vojodi Mehrabani L., Valizadeh Kamran R., and Hassanpour Aghdam M.B. 2017. The effects of relative substitution of organic fertilizers on elementes content, some physiological traits and yield of *Lepidium sativum* L. Agriculture Sciencs and Sustainable Production 27(3): 63-72. (In Persian)
45. Watzinger A., Feichtmair S., Kitzler B., Zehetner F., Kloss S., Wimmer B., Boltenstern S.Z., and Soja G. 2014. Soil microbial communities responded to biochar application in temperate soils and slowly metabolized ^{13}C-labelled biochar as revealed by ^{13}C PLFA analysis: results from a short term incubation and pot experiment. European Journal of Soil Science 65(1): 40-51.
46. Zheng Y., Dixon M., and Saxena P.K. 2006. Growing environment and nutrient availability affect the content of some phenolic compounds in *Echinacea purpurea* and *Echinacea angustifolia*. Planta Medica 72: 1407-1414.

Journal of Horticultural Science
Vol. 35, No.4, Winter 2022, P. 535-547
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص. ۵۴۷-۵۳۵
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Reaction of Sweet Basil (*Ocimum bacilicum* L.) to Different Fertilizing System in an Agroecosystem

S. Charbandi[1]- F. Zaefarian[2*]- V. Akbarpour[3]- M. Kaveh[4]
Received: 25-08-2020
Accepted: 07-05-2021

Introduction: The tendency to produce aromatic and medicinal plants and the demand for natural products is increasing especially in the world. Ecological agriculture (Agroecology) of medicinal plants guarantees their quality and reduces the possibility of negative effects on their quality and yield. Evaluation of different plant nutrition systems is one of the most important principles in the production planning of medicinal plants in order to achieve high yield and quality of effective ingredients. Proper fertilizer management is one of the most important factors in agricultural production. Identification of fertilizers which are compatible with nature and are suitable for plant growth could have favorable effects on quantitative and qualitative indices of the plant. Organic fertilizers are genuine and risk-free products that could be suitable for agricultural sustainability. Soil organic matter improves fertility and water retention, provides proper ventilation, long-term storage of plant nutrients and microorganisms, so replacing chemical fertilizers with fertilizers such as vermicompost and biofertilizer can reduce the above-mentioned effects. Biofertilizers are one of the operations that is nowadays in accordance with the principles of sustainable agriculture for soil fertility. Biofertilizers include the compost of one or more types of useful soil organisms or as metabolic by-products of these organisms that are used to provide the plant with the nutrients it needs in an agroecosystem.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of biochar, organic and biological fertilizers on the quantity and quality of *Ocimum bacilicum* L., a factorial experiment was done in a randomized complete block design with three replications. Experimental treatments included two levels of biochar (0 and 20 ton ha^{-1}) and five levels of fertilizers (vermicompost (10 ton ha^{-1}), *Mycorrhiza*, *Azotobacter*, *Pseudomonas* and no fertilizer application). Prior to planting sweet basil seed, biofertilizers and vermicompost were mixed with soil to the depth of 15 cm. *Mycorrhizal* fungi were mixed with seed. *Azotobacter* and *Pseudomonas* bacteria were also incubated with seeds (seed inoculated). It should be added that in this study no chemicals were used to control weeds and pests.

Results and Discussion: According to the results, the highest plant height and number of main branches were obtained in biochar application with vermicompost (49.37 cm and 7, respectively), which was significantly better than other treatments. The interaction effect of biochar and fertilizer had a significant effect on fresh and dry weight of leaf and stem. Mean comparison of treatments showed that the highest leaf and stem fresh weight were obtained in biochar + *Pseudomonas* application (792 and 876 g m^{-2}, respectively), which had no significant difference with biochar + vermicompost; and also, the maximum leaf dry weight and stem dry weight were obtained in biochar with *Pseudomonas* application (166 and 175 g m^{-2}, respectively). The interaction between biochar and fertilizer on phenol, flavonoids and antioxidant activity of basil showed a significant differences between treatments.

Conclusion: In general, the results showed that the use of biochar and biological and organic fertilizers could be effective in both the quality and quantity of sweet bail, where, the use of the bacterium *Azobacter* and *Pseudomonas* with biochar had the greatest effect on the quality and quantity of sweet bail. Finally, it could be concluded that the combined use of biochar with biological fertilizers had significant impacts on the quantitative and qualitative traits of sweet bail in ecological or low input agricultural.

Keywords: *Azotobacter*, Biochar, Biofertilizer, *Mycorrhiza*, Organic Fertilizer, *Pseudomonas*

1, 2 and 4- Graduated Student in Master of Science, Associate Professor and Graduated Student in Ph.D. of Agronomy, Faculty of Crop Sceiences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, respectively.
(*- Corresponding Author Email: fa_zaefarian@yahoo.com)
3- Assistant Professor of Horticulture, Faculty of Crop Sceiences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
DOI: 10.22067/JHS.2021.61907.0